●講演抄録

# ICTを活用した旅客流動分析

株式会社社会システム総合研究所　代表取締役
京都大学経営管理大学院　特命教授
**西田　純二 氏**

●と　き　2019年12月2日（月）　●ところ　大阪キャッスルホテル6階　鳳凰・白鳥の間

## ■はじめに

本日はICTを活用した旅客流動分析というテーマでお話いたします。

私は大学卒業後、コンサルタント会社、外資系コンピューター会社、電鉄会社を経て現在の会社を設立しました。

私の会社は、大学の研究室が株式会社として運用されているような感じで、開発したものはできるだけ論文にして発表しています。特許は一切取りません。今回ご紹介するのも、いくつかの大学と共同研究して製品化した例です。

## ■人流解析のニーズ

本日、お話しするのは人流解析です。もちろん、いろいろなシチュエーションでニーズがあると思います。空港ももちろんそうですし、公共交通計画、観光計画、施設設計と運用、そして商業施設の運用やマーケティング、防災警備計画、あるいは来場者のパターン分析など、さまざまです。

私たちのシステムは、こうしたニーズに実際に応えられる解析システムだと思っています。今日ご紹介するのは研究段階のものではなく、全て実用化された事例ばかりです。

## ■従来の調査・解析手法と問題点

これはパーソントリップ調査の調査票です。昔は人流解析をしようと思うと、このようなアンケート調査票を各家庭や個人に配り「今日あなたはどこからどこへ、どのような交通手段で、どのような目的で動きましたか」と尋ね、回答を集計して流動データにします。あるいは道路でカウント調査をします。

この手法はご承知の通り多大な費用と時間がかかるという問題があります。もう一つの問題は、この調査手法を取るとき、特定の平均的な1日の調査になることです。平日や休日の指定日に実施するのですが、例えば年末年始のある瞬間や、災害が発生した瞬間のデータは取れません。

そのためには、今日ご紹介するような常時観測できるセンサを使う必要があります。前述のような調査に対応するのは、今日ご紹介するセンサだけではなく、いろいろなものがあり、すでに使われ始めています。

例えば携帯電話のデータを解析することで地域ごとの人の動きを取り出す、あるいは交通ICカードのデータを使って流動解析をする、

また最近はカメラの画像解析をすることで流動パターンを取ることなどができます。道路では、ETC2.0のようなシステムから自動車流動を取ることもできます。

ただ、こうした仕組みを使う際には問題点があります。

一つは個人情報です。たとえどんな目的であっても深いところまで追跡していくと個人の動きが分かってしまいます。これはやってはいけないことです。

もう一つの問題は費用。もともとこのような交通調査をするためにつくられているものではないので、データを抽出して解析するのに結構な費用がかかります。携帯電話のデータ解析でも、おそらく100万円や200万円、期間によっては数百万円の費用が発生します。それがネックになって、使いたいがなかなか使えないといった状況になることもあります。

## ■ Wi-Fi パケットセンサとは

今日ご紹介するのは Wi-Fi パケットセンサと呼ばれる技術です。皆様もお持ちのスマートフォン、携帯のゲーム機やパソコンなど、Wi-Fi の機能があるものが最近、非常に増えています。

スマートフォンなどは、使用中でなくスタンバイ状態にしていても、メールなどを自動的に繋いだりしてくれます。スマートフォンはスタンバイ状態でも一定時間ごとに、設定した Wi-Fi の基地局に繋ぎにいく動作をするのです。

この動作をするときに、ある種のビーコン（Wi-Fi プローブリクエスト）を出します。その中には MAC（Media Access Control）アドレスというスマートフォンの個体が分かるようなコードが入っています。この MAC アドレスは抜き出して解析することができます。

今ここにいるほとんどの方がスマートフォンをお持ちだと思います。Wi-Fi をオフにしている方もいると思いますが、オンになっているスマートフォンは常に、自分が繋ぎにいけるアクセスポイントがどこかにないかと探しています。

そのコードを拾って、この周りにいくつのスマートフォンがあるかを数えると、その数はほぼ人の数に一致するはずです。そしてこのスマートフォンが動いているところを追跡していくと、それは人の流動にほぼ一致するのではないかと考え、スマートフォンを追跡するセンサをつくりました。

スマートフォンが出す電波は通信内容を含んでいるものもあります。通信内容を含んでいるものを取ると電波法や電気通信事業法に触れるので、こういうデータは取りません。スマートフォンが自分の居場所を示すために出しているパケットだけを拾います。もちろんその中に個人情報は入っておらず、個体を指定するようなコードだけが入っています。

また後で個人情報の問題については詳しく触れたいと思います。

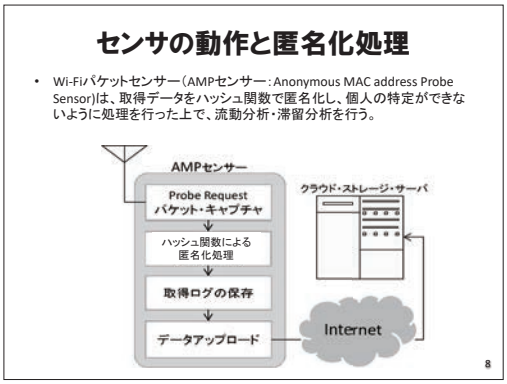
## ■センサの動作と匿名処理

このセンサは空間の中を飛んでいるスマートフォンの電波を取るだけで、センサ側からは何も出していません。単に受信しているだけなので他の通信機器に障害を与えることはありません。

パケットキャプチャという形で飛んでいるパケットを全て取り、その中で通信内容を含んでいないパケットだけを取り出します。しかしその中には機種固有の ID が入っているので、悪意をもって追跡すると個人が分かってしまうことがあります。

そこで匿名化処理と言い、元の数字に戻せないようにコード変換をします。その上で取得ログを保存し、このデータをそのまますぐにクラウド・ストレージ・サーバに上げます。ここで

全てのデータ解析をします。センサの中には取得した情報が一切残らないような処理をしています。




## ■センサ仕様

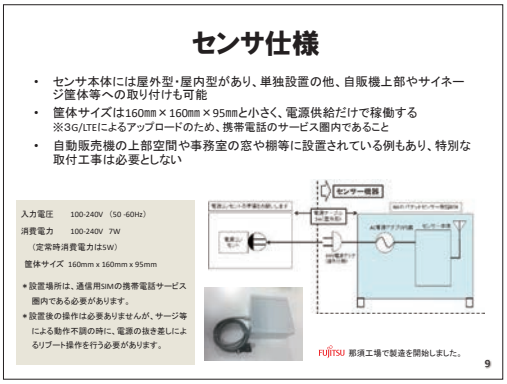
センサの仕様ですが、実物は10cm 少しの大きさの箱で、スイッチも何も付いていません。電源を差し込むとデータをどんどん取り始め、携帯電話回線で自動的にアップロードされます。従って設置は、どこか分かりやすい所にポンと置けばそれでおしまい。電源さえあればすぐに動き出します。

他のセンサ類、例えばカメラなどの場合は、人の流動が見えるところに上から狙いを定めて設置する必要があるのですが、結構大変です。あるいは車の台数を取るトラフィックカウンタというセンサがありますが、それも路上にループコイルを埋めたり、上にセンサを取り付けたりするのにかなりの設置工事費がかかり、設置工事だけで数十万～ 100万円ほどかかることがあります。

後でも出てきますが、Wi-Fi パケットセンサは例えば自動販売機の上にポンと置くだけなので、設置工事費はほとんどかかりません。消費電力も5W ほどで LED の電球一個程度なので、特に電源系統にも影響はありません。

これは現在、富士通特機システムの那須工場で生産してもらっています。昔は全部、自社でつくっていたのですが、かなりの数の設置要望をいただくことになったからです。例えば1カ月に数十台くらいになると、社員が全員徹夜してもできないので、会社がブラック企業になってしまいます。そんなわけで今は富士通でつくってもらっています。

ソフトウェアの設計図を渡して、那須工場で製造し始めたため、品質も非常に高いものができるようになりました。




## ■研究段階から実用化段階へ

このセンサの設置事例についてこれから順番にご紹介しますが、ここ数年でいろいろな所で運用が始まっています。初期は、例えば日本では、熊本の地震のときに高速道路（九州道）が被害を受けてかなりの渋滞が発生したため、その渋滞を検出するために設置しました。

普及が早かったのは日本より海外のほうでした。世界で最初に大量に入れたのはラオスのビエンチャンで、ビエンチャン市内の交通流動を計測しました。その後、ケニアのナイロビにおける流動調査にこれを使いました。

現在は、京都の主要観光地10 ヵ所の他、京都駅や地下鉄の駅にも取り付けました。大阪では南海電鉄のなんば駅に設置したり、道頓堀の戎橋では常時観測を行ったりしています。

かなりの台数があちこちに設置されているのです。

## ■何が計測できるのか

Wi-Fi パケットセンサで計測できるものについて。まず分かりやすいのは滞留や通過とその時間変動（事例①）。このセンサで周辺にいくつのスマートフォンがあるかを数えると、だいたい人の数に比例します。お子様やご高齢の方などスマートフォンを持っていない方もいれば、Wi-Fi をオフにしている方もいるので、実測数からこの割合を何かの調査で調べ、それを拡大係数にします。

例えばスマートフォンを持ち Wi-Fi をオンにしている割合が30％くらいのエリアであれば、ここで取れた数を3.3倍するとほぼ全体の流動数になるということです。

複数のセンサを置くと、ある地点からある地点に、どんなふうに、何時頃、どれくらいの人が動いているかが取れます（事例②）。これはカー OD 調査やパーソントリップ調査よりもサンプリングレートが高いです。

例えば朝7時台の OD 表、あるいは休日、台風が来た瞬間の OD 表を自動生成することができるようになっています。

地点間の移動速度も計測できます。二つのセンサの間の距離を取ると所要時間が分かるので速度が分かります（事例③）。道路などでは渋滞検出用のセンサで結構使われています。

四つ目が滞留時間の分布です。これは Wi-Fi パケットセンサの非常に特徴的なところで、実はお客さんの滞留時間を測るセンサはあまりないのです。実際に顔を認識してその人が何分いたかをお店で見ようとしても、ほとんど正確なデータは取れません。

このセンサは ID ごとに一番はじめに計測された時間が何時何分かをまず記録し、それが最後に計測された時間をまた記録します。そうすれば「その間この ID はここにいました」と分かるので、滞留時間の解析ができます（事例④）。

五つ目は今年から実施し始めているのですが、先述のようにスマートフォンは自分が繋ぎにいくアクセスポイントの名前を指定してコードを出します。それを見ると、日本のアクセスポイントか海外のアクセスポイントかが分かるので、おおよその外国人比率を出すことができます。実際に計測した例も後でご紹介します（事例⑤）。

一つひとつのスマートフォンの動きを流動アニメーションにすると、かなりミクロな地域内の人の動きも解析することができます（事例⑥）。

以降で順番にこれらの解析例をご紹介します。

**事例①**

**（1）：流動量の時間変動**

まず一つ目は流動量の時間変動です。これは現在もやっていますが、昨年と一昨年に行っていた京都・東山のグラフです。グラフが少し見にくいですが、どのセンサで何時から人が増えているかを見ます。

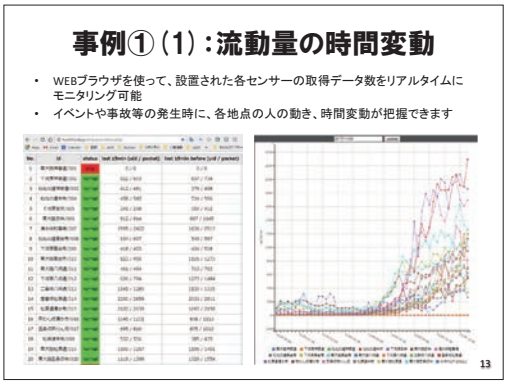
例えば清水寺なら午前10時から拝観が始まるので、その少し前に三年坂からずっと人が増えていきます。これは何のために行った調査かと言うと、京都市が「歩くまち・京都」を推進するため清水寺周辺の観光渋滞対策をする必要があったからです。

行かれた方はご承知の通り、東山周辺の観光客は増えすぎて危険の域に達しています。特に拝観終了時間になったら一気に人が下へ降りて行くので、道も混みますが、下のバス停では全くバスに乗れなくなってしまいます。

「現在、清水寺にはどのルートで何時頃に人が入っているのか」というデータを取りたいと

の要望がありました。このデータは既存の調査ではなかなか取れません。そこでこのパケットセンサを東山一帯の20カ所に置きました。

こうして取得したデータを解析し、一番集中しているルートから他のルートに転換するにはどうするかといった検討を行いました。




**（2）：ピーク滞留状況把握**

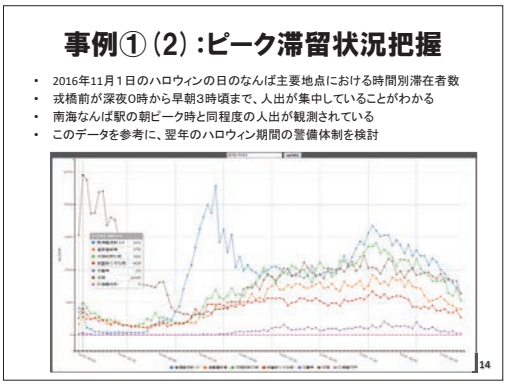
次のグラフは戎橋と南海なんば駅に2016年11月から置いているセンサのデータです。2016年11月1日は、日本で初めてハロウィンに若者がどっと押し寄せて騒ぎ始めた日なのです。

この日、警察でもまさかこれほど大量の若者が集まると思っていませんでした。戎橋の上は、すごいことになっていたのですが、そこまで見越した警備体制にはなっていませんでした。ところが31日の夜からみんな帰らずに、翌1日まで夜通し騒いでいました。

その人出は一体何時からどれくらい動いていたか知りたい、という話が商店街の事務局に来ました。ちょうどセンサをつけた後だったので、それをお示しすると、大阪府警も大変喜ばれたそうです。

グラフの青い折れ線は南海なんば駅の一番大きな改札で計測しているものです。だから南海なんば駅の朝の通勤ピークと同じくらいの人がここにいたことになり、いかに大変な人出だったかが分かりました。

この人たちが帰った時間が何時頃か分かるカーブも取れています。このデータを参考に、翌年からハロウィンの対策も考えて警備体制を敷かなければいけないということになりました。



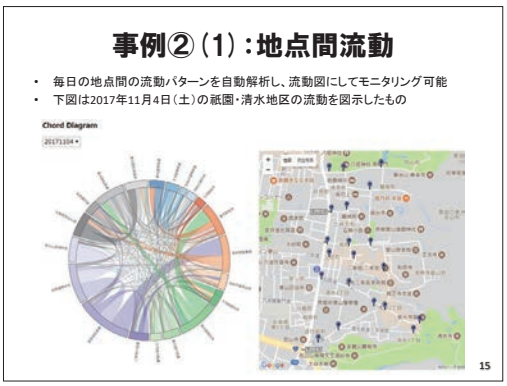

**事例②**

**（1）：地点間流動**

先ほど触れた東山の例です。約30カ所で、ご覧のような所に置いているのですが、どこからどこに動いているのかは、OD 表（Origin Destination 表：発地から着地への流動量を表にしたもの）で見ても分からないので、Chord Diagram（コードダイアグラム）と呼ばれる図で確認します。こういうものを自由につくれる仕組みを入れてあります。

ものすごいデータ量が取れるのですが 、ビッグデータを手で解析すると大変なので、解析用サーバーで全部自動的に解析します。

ある日を指定すると、その一日の OD 表が出てきます。例えばこの地点からこの地点にはどれくらいいたのか。時間別でも集計可能で、夕方の時間帯と朝の時間帯でどちらからどちらへ向かう人が多いのかも分かります。




**（2）：OD 表と人の分散**

「海の京都 DMO」が天橋立周辺に60基のセンサを常設稼働されています。同エリアの観光

における最大の課題なのですが、みんな日本三景の一つである天橋立までは行くのです。しかし、その後どのように他地点に回遊してくれるか、あるいは滞在してくれるかというのは、解析したくてもなかなか調べる手段がなかったのです。

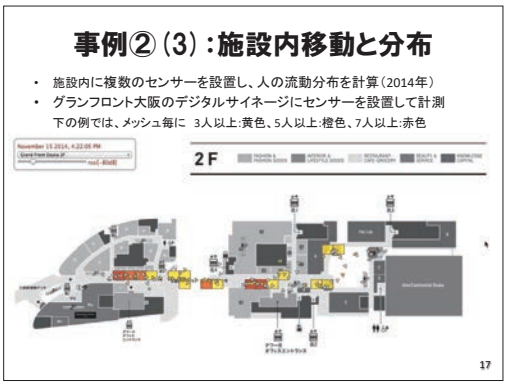
これはある日の天橋立に来た人が、その次にどの観光地に入っているかを示すOD表です。われわれはこれを逆引きOD表と呼んでいます。ある所に行った人がどんな動きをしているかを解析するものです。イベントを行うと、実際にイベントをしたところへの流動量が増えているかといったことが解析できます。

### (3):施設内移動と分布

グランフロント大阪の事例です。電波は実は数十mから200mくらい飛びます。複数のセンサで一つの信号を取ることもでき、その場合は電波強度も一緒に取るので、センサで取っている電波強度を使って「この人はだいたいこのエリアにいる」という動きを三角測量のような手法で推定するのです。

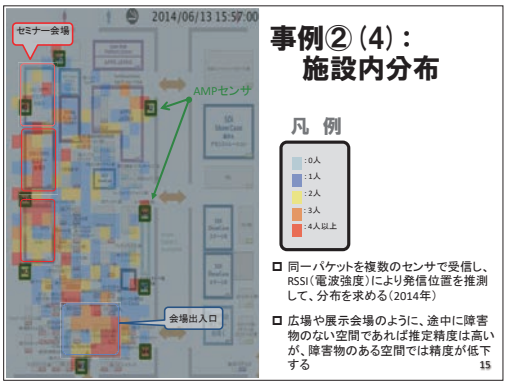
推定しておおよその人のいる場所を決め、それを流動図にすると、このように施設内の人の対流移動が手に取るように分析することができます。色が赤くなっている所は人がたくさん集まっており、黄色い所は少なく、色のない所はさらに少なくなっています。

実施後の後日談があります。グランフロント大阪の管理を担当されている方から「これはすごいですね。しかし、あまり表に出さないでください。どこに人が行っていないのか一発で分かるので。」という笑い話がありました。そこまで見えてしまうということです。




### (4):施設内分布

次の図はイベント時の人の移動です。これはIT関係のイベントで、会場の入口と3カ所のオープンセミナー場が示されています。会場入口から入った人がどのように流れていくかが分かるようになっています。センサを周りに置いており、前の例でもあったように、一つの信号を複数のセンサが取っておおよその位置を推定するやり方です。




### (5):着目地点の前後流動

現在、阪神尼崎の駅前に尼崎城ができています。尼崎城ができて、お城を訪問した人が周辺の商店街などを回遊してくれるようになったのか？

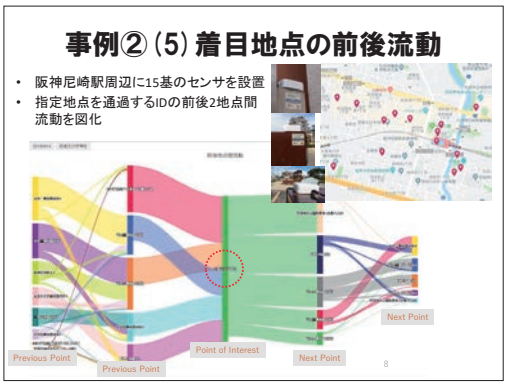
実際に調べたいとのことで、尼崎市観光局と一緒に、尼崎城の周り15カ所にセンサを置きました。

これは指定の場所の前二つ・後二つに対する流動図を自動生成する仕組みです。資料では見えにくいですが「六甲ミーツ・アート」をここで提携して行ったとき、イベントの開催によって回遊が変わっているかどうかを解析したいとのことで計測しました。神社に来た人が次にど

こへ行ったか、さらにもう一つ先にどこへ行ったか、そして一つ前どこから来たかを図化します。

ビッグデータなので解析するのは非常に大変なのですが、このような解析の仕組みをあらかじめ多数つくっておき、全て夜中にバッチ処理して、図を描くようにします。

リアルタイムに現在のデータを見るような処理もありますが、こうして一日ごとにデータを生成する処理を自動的に組み込むこともしています。




**事例③**

**（1）：移動速度**

これは最初にご紹介した、九州道の震災時の工事の時に設置したものです。置いてあるのは非常用電話のところで、この電源を取っています。

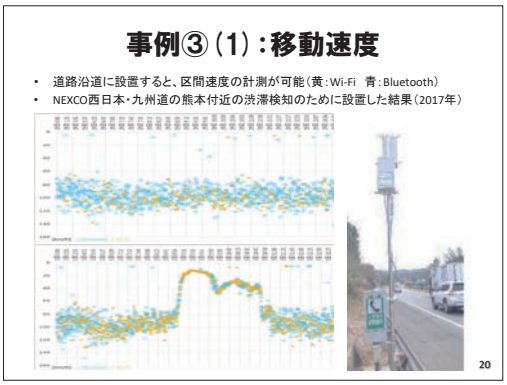
非常に簡単で、テレビのアンテナポールに2台付けています。先ほどから Wi-Fi パケットと言っていますが、青のプロットは Bluetooth（ブルートゥース）です。最近車載器にハンズフリーで携帯電話と通信をする機能がありますが、Bluetooth で車とスマートフォンがつながっています。Bluetooth を接続するためのある種のコーリングシーケンスがあり、そのときに出る信号を取ると Wi-Fi と全く同じことができます。

青は車両1台1台を取っており、黄色は Wi-Fi でどちらかというと人です。例えばバスの中に20人いると、スマートフォンは20台あることになり、この場合は20の反応があります。しかし Bluetooth は車一台につき一つの反応なので、違いが出てきます。

九州道で行うと、震災の後ということもあるのですが、ものすごく飛ばしていることが分かります。

下は事故渋滞が起こったときで、速度が渋滞速度に入ってきて、インター間が時速約10km以下になっています。いったん回復しますが、もう一度別のところで事故が起こり、これが回復していくときの速度変化がとらえられています。

もちろんトラフィックカウンタ（トラカン）でもとらえられるのですが、トラカンの設置費は高いので九州道のこの区間にはついていません。だから緊急にセンサを付けようと、現地に持って行って設置しました。日本で最初に高速道路の計測をしたのはこの事例でした。




**（2）：道路の渋滞検知**

世界で最初に Wi-Fi パケットセンサを大量に入れたのはラオスのビエンチャンです。写真で線が引かれてある所がバスの走行路線です。図のように点々とセンサを置くと、二地点間の所要時間が分かって、渋滞がどこで発生しているか分かります。これは夕方の一番渋滞が激しいときだと思います。

ビエンチャンの事例は JICA の委託事業でし

た。世界で最初がラオスだったのには理由があります。日本の場合は総務省の委託事業などの実施経験を通して十分な対処方法を作り上げました。われわれは個人情報の配慮については十二分に対処しているつもりなのですが、自治体や国機関からするとやはり少し怖いでしょう。

例えば大阪駅付近で監視カメラの画像で個人情報の扱いが新聞等で大きな問題になった事例がありました。このため、大きな前例がない新しい調査方法は、初めてやるのは怖いと、日本の自治体は二の足を踏んでいました。

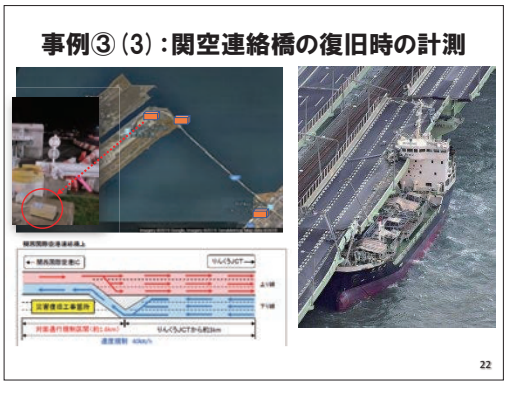
では最初に海外でやりましょうという話になり、ラオスで実施したわけです。どのように個人情報保護に対応したかについては後述します。

**（3）：関空連絡橋の復旧時の計測**

2018年9月の台風21号で関空連絡橋にタンカーが衝突したときの事例です。片側を閉鎖して復旧工事が行われました。その際、かなりの渋滞が発生することが予想されたため、国土交通省から橋梁の上の所要時間を計測する指示が出ました。

NEXCO では現地に試走車を入れていました。最初はひたすら黄色の車が往復して測っていましたが、これは大変だとなって、センサを入れることになりました。

先ほども言いましたように電源さえあればポンと置くだけなので、12時間でセンサを現地に設置して解析システムをつくり、二地点間の計測をしました。道路での速度計測の例はまた後の方でも少しお示しできるかと思いますが、このような災害時でも非常に短時間で計測できるものになっています。



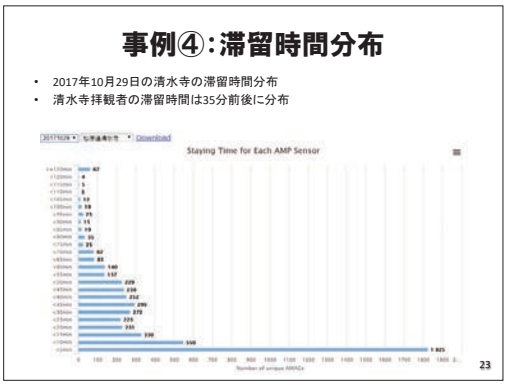

**事例④：滞留時間分布**

次の事例は清水寺の前につけたセンサです。清水寺の中に何分ぐらい入っているのかを調べることができました。

10月29日は紅葉がとてもきれいな時期で、秋の観光のピークです。渋滞も一番激しいので、観光バスが渋滞に巻き込まれて現地に入るため拝観時間がなくなるのです。外国人も非常に多く、1時間の予定が渋滞で30分しかないとなると、中に入らずに土産物店の前で写真だけ撮って帰ります。

実は、この計測日はお寺に入らなかった人が一番多かったのです。入った人を見るとだいたい35分がピークになっており、清水寺の拝観時間はおよそ35分であることが分かりました。このようなデータはこれまでありませんでした。このセンサを使えば施設ごとにこのような滞留時間のデータが取れます。

雨が降ると滞留時間が少し伸びます。観光する箇所を減らして、雨のかからない所へ行くので、清水寺でも滞留時間が延びる傾向が見えてきます。




**事例⑤**

**（1）：ビジター率の集計**

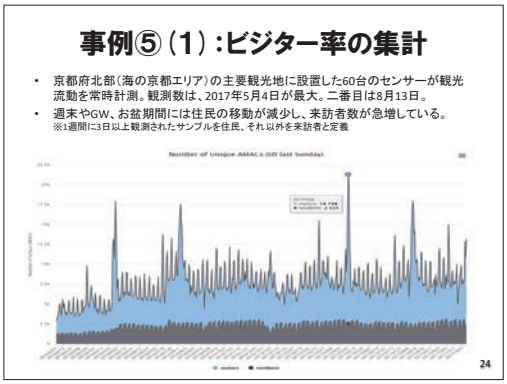
次は京都府北部の天橋立周辺60カ所に置いた全センサのデータを解析した結果です。2段階で増えているのはセンサを2回に分けて段階的に設置したからです。このエリアで最も観光客が集まったのはゴールデンウィークでした。その次がお盆で、年末年始の初詣のときも、お寺や神社が多いので結構集まっています。

その時期の人出はだいたい、土日のピークの

倍以上であることが分かります。このグラフは水色の線と、下に黒い線があります。違いは住人とビジターです。このセンサは同じIDを1週間だけ追跡できるようになっており、1週間に3日以上とらえられた人は住人、1日か2日だけの人はビジターと判定しています。

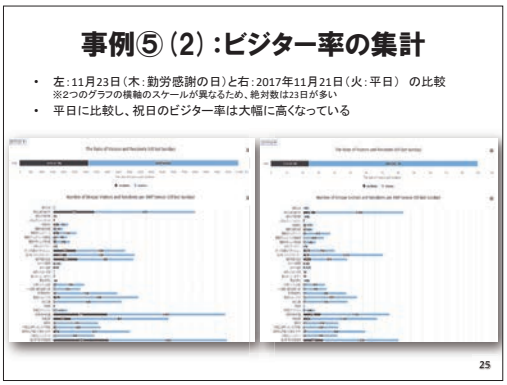
週に一回しか買い物に行かない方などが観光客と判定されてしまうという問題はあるのですが、概数としてはビジターとレジデンスの判定が可能です。観光客が一気に伸びるときは渋滞も激しいので、住民の動きが落ちていくのが見てとれます。通勤通学は休みの日はなくなるので当然と言えば当然なのですが。

ぐっと落ちている所は台風や大雨のときで、その落ち込み具合も分かるようになっています。




施設ごとのビジター率も計算できるようになっています。例えば舞鶴の道の駅・とれとれセンターでは、年末年始の少し前になるとかなりの地元民が買いに来て、地元の利用率がぐっと上がっていることが分かります。

イベント時、来場者の中でビジターが増えているのかどうかも分かります。非常に面白い事例がありました。舞鶴市の観光施策で 年始に地元の方による書道の展示会が開催されたそうです。1月のお正月が終わった頃は観光客が少し落ち込みます。そこで地元民向けのイベントをしたところ、ちょうど成人式で帰省してきた方などの参加もあって、観光客数の落ち込みが補われたことが分かるデータがありました。なかなか素晴らしいイベント効果が計測されているなと見て思いました。




**（2）：Wi-Fi インバウンド・カウンタ**

Wi-Fi インバウンド・カウンタはここ1年くらいで開発した新しい技術です。Wi-Fi の管理パケットの中に入っているアクセスポイントの名前が、日本人がよく使うもの否かを判断します。

この中で多くの方がdocomo、au、softbank のスマートフォンを使われていると思いますが、スマートフォンは黙っていても勝手に、例えば docomo なら駅などにある「docomo0001」という Wi-Fi ポイントに繋ぎにいきます。これを使うのはほとんど日本人です。

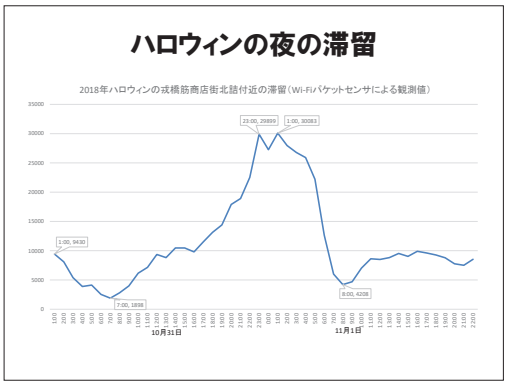
一方、中国語でコーディングされているアクセスポイント名なら中国人であると判定できます。それをいくつか組み合わせておおよその外国人の割合を取ります。概数ではありますが、実測したところ10％程度の誤差に収まっていると感じます。

実際に計測した例があります。去年のハロウィンの時、戎橋の上から写真を撮ったのですが、この場所から少し低い場所にセンサを1台常設しています。現在もこのデータは取れています。2018年のハロウィンのときのグラフをご覧ください。

普段は朝の7時頃から通勤が始まり、ずっと計測数が増えてきて、夜になるとまたへこみ出します。ところがハロウィンの日はうなぎ昇りにずっと計測数が増え始めます。23時をピークにいったん減ってもう一度1時に増えます。これは何かと思って現地の動きをもう少し調べました。大阪メトロは0時頃に運行を終了するので、終電ギリ

ギリまでいて帰ろうというのがはじめのピークであることが分かりました。飲み屋などでたむろしていた人が橋の上にどっと出てくるときのカーブがこのようなへこみをつくっています。

全体の動きをみると、深夜の部分は上がり方に対して落ち方が緩やかです。ほとんどの方が午前3時や4時まで帰っていないのです。橋の上でずっと朝までいて、始発のタイミングでようやく駅に向かうので、5時から一気に減っている様子がカーブで見てとれます。

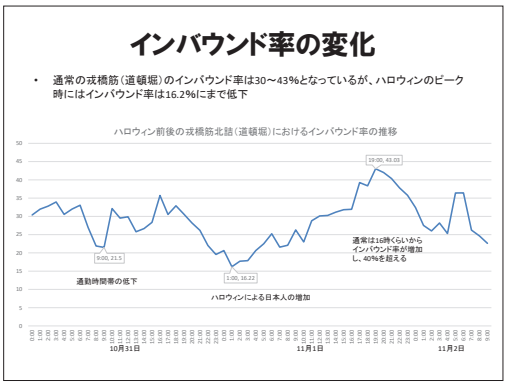



このときのインバウンド率の変化を示しました。通常時ではなくハロウィンなので少し特別な事情ですが、外国人率はだいたい深夜に増加し、30 ～ 40%程度になります。普段は夜中になると日本人は帰宅するのですが、ミナミの周辺にはゲストハウスなどが増えているので外国人は夜中まで遊んでいます。

24時間営業の店も結構あるため、夜中は外国人率が高いのです。ところが朝の7時～ 9時頃には、日本人の通勤客が出てくるのでぐっと下がります。9時を過ぎると通勤客は皆ビルに吸い込まれ、また外国人率が上がります。次に少し下がるのは昼のランチタイム。また勤め人が出てくるので外国人率が少し下がりました。

夕方の5時6時になると、この日は日本人がハロウィンのために出始めたのでインバウンド率が15%に低下しました。普通の日はここから外国人率上がり、グラフのように変化していきます。11月1日､2日はもう普通の日なので、通常日の外国人の割合を示しています。

戎橋は午後8時～ 9時くらいの外国人率が一番高いです。




ご存知の通り戎橋は中国人が大変多いです。30%を中国人が占めると、中国語の声しか聞こえません。彼らは声が大きいのでほとんどが中国人のように勘違いするのですが、よく見るとまだ半分程度という感じでした。

夜中を過ぎるとまた外国人率がぐっと上がります。24時間営業の店の周りに集まり出すといった状況が取れています。

このセンサは関空内に付けると、例えばトランジットの動きなどが取れて非常に役立つかもしれません。

**事例⑥：ナイロビ計測結果のアニメーション化（2017年）**

ナイロビでは、広い範囲でセンサを付けています。これは、CBD（センタービジネスディストリクト）の中に多数台を置き、ある地点と別の地点で取れたデータを、その間を直線で移動したと仮定しています。

実際は道路沿いに動いているのでこんな動きではないのですが、どのエリアで人が増え始めるのかが分かります。ナイロビの場合は朝早くから人が動き始めます。特にこのエリアは住環境があまりよくないスラムになっています。

この辺りに人がたくさんいて、この辺はビジネス街です。朝方、スラムの辺りから人が動き始めます。そして6時7時になるとバスが動きます。次はこのバスターミナルから一気に人が出てくるのですが、通勤時はこのバスターミナルに行かず、手前のバスターミナルで降りて行きます。

夕方はケニアのバスはもう満杯で乗れないので、みんな始発のバスターミナルまで歩いて行きます。始発のバスターミナルで乗車、途中か

らは満杯で乗れないからバスはそのまま郊外まで行く、そういう動きが取れます。11時12時になると、この辺は人だらけになります。

要するに一個一個の観測されたデータが毎日毎日継続的に取れていきます。

## ■国内外の計測事例

### 実施例①：京都府北部　海の京都

もう少し計測事例を中心にお話しします。

「海の京都 DMO」の例をお話ししましたが、現在天橋立周辺の丹後半島から福知山、綾部辺りに約60台センサが置かれています。神社やお寺の入口に電源ボックスがあれば、このようにセンサを付けています。

### 実施例②：京都市内・京都駅

JR 西日本さんが京都駅の改修計画を考えられたとき、例えば「この改札から入って何番線のホームに行くか」「どの改札の周りに何時頃ピークがくるか」などのデータを取りたいとのことでセンサを置きました。この写真は JR 京都駅ですが、このようにコインロッカーの上から電源をもらい、ポンと置いています。

これ以外に、飲料の自販機の上に置いて自販機から電源を取らせてもらうなど、置き方は非常に簡単です。24時間電源が切れないし飲料の温度管理のための電源がずっと入っているので自販機が最適です。ここから少しだけ電気を分けてもらいます。

「ほとんど電気代はかかりません。1カ月20～30円です」と説明すると快諾いただけます。その際「そのデータを自分たちにも提供してもらえますか」という話になり、それならばと置かせてもらえることが非常に多いです。

もう一つこの調査の特徴があります。現地では全箇所に「Wi-Fi パケットセンサによる観光流動調査実施中」というシールを貼り、誰がどのような調査をしているか、もし問い合わせたい場合はどこに連絡すればいいのかを書いています。

ここには三つの問い合わせ先があります。一つは京都大学。私どももこのときは京都大学側で研究していたので、京都大学が入っています。渋滞対策目的で国土交通省京都国道事務所、そして JR 西日本です。

JR は駅の構内に置きました。京都大学は主要観光地全てに置いています。京都国道事務所は特に東山の渋滞を解消するため、東山の周りの駐車場や車の流動のデータが取れる所に置きました。三つの主体が全く別の目的でセンサを置きましたが、共通で解析できるようにプライバシーポリシーを調整しました。「いずれも観光対策のための調査だから、この目的であれば同時に使いましょう」と調整して、全部のデータの相互解析をしようと考えたのです。

そして解析のための増えたコストは私どもの会社が吸収しますということで実施させていただきました。実は大変な目にあいました。ものすごいデータ量で、当初予定していたサーバーの能力では全く計算できなくなり、サーバーの追加投資がかなり大きくなりました。しかし京都市内の全部の流動が取れる機会はなかなかないので、このデータは大変貴重です。このデータだけを使って京都大学および関係機関ではすでに数本の論文を書いておられます。

**実施例③：東山（祇園清水）地区**

この東山地区の調査も京都市と協力して実施しました。東山では人も渋滞しています。東山地区の観光客はどこから入っているのか。

東山で一番の目的地になるのはやはり清水寺です。清水寺へ観光に来た方はその次にどのように回遊しているのでしょうか。紅葉の季節なら八坂まで歩いて行く人が多いです。夕方、清水寺の拝観時間が終わる頃は同時にどっと出て来るのでピークになります。このときにちょうどいい施策がライトアップです。

ライトアップすると、夕方の5時に集中的に出ていく人たちが分散します。来訪者の分布も分散するので、ライトアップによってどれくらい分散しているかの計測もできました。

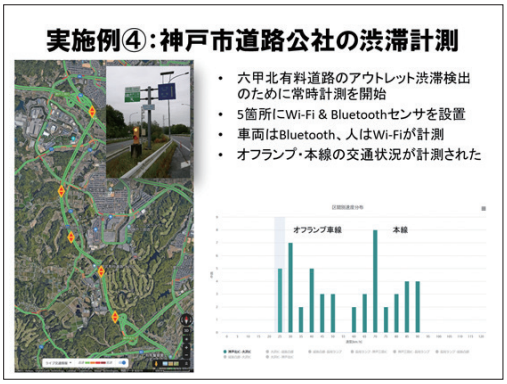
**実施例④：神戸市道路公社の渋滞計測**

これはつい最近1カ月ほど前に付けた神戸市道路公社の渋滞計測です。神戸市道路公社では六甲北有料道路を運用しています。ここは神戸三田プレミアムアウトレット、イオンといった大型店舗があるので、休日などはオフランプ側の車線が渋滞で全く出られなくなってしまいます。ちょうどその渋滞が起こる所にトラフィックカウンタがないので、渋滞検出のためにセンサを置いて計測しました。

少し分かりにくいですが、渋滞が発生したときの最初の段階は、正規分布が二つに分離しているような形になっています。

ここでは、オフランプの所で並んでいる車を追い越すように2車線化されたので、本線側で追い抜きをかけているところが別の2つの分布系として計測されています。ところがもう少し時間が経つと、追越車線でも割り込みしようと渋滞が発生し、本線側の走行車線も追越車線もどちらにも渋滞が発生します。

この渋滞が何時頃に発生して何時まで継続するかを分析することができます。センサは1台、約20万円。トラフィックカウンタを常設設置するとおそらく200万円くらいすると思うのですが、トラフィックカウンタ1台付ける費用で全部の区間に取り付けられて計測できるということになります。

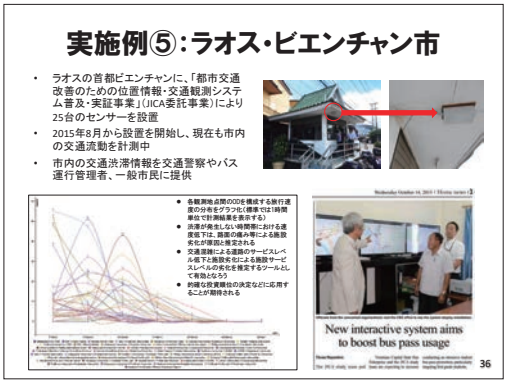



**実施例⑤：ラオス・ビエンチャン市**

先程ご紹介した、ラオスのビエンチャンで導入したセンサです。世界で最初に多数台を大都市圏に置いた例で、速度分布のデータを取っています。ラオスは2輪車も多く、普通は時速30km 程度の走行速度なので、50km や60km になると非常に飛ばしていることになります。

海外の道路関係の計画に携わった方は分かると思うのですが、道路にポッドホールという穴が開き、そこに雨が降って水たまりになると、深さが分からないので乗り越えるのが怖いのです。日本の道路はよく管理されているので、水たまりがあってもみんな通りますが、海外では下手をするとドスンと落ちて車が壊れてしまうので、ポッドホールは越えません。

従って、雨のときにこの速度分布がぐっと落ちてくると、そろそろ道路の管理を考えなければならない、ということが分かります。そんな用途にも使うことができます。




**実施例⑥：ケニア・ナイロビ市**

ナイロビのいろいろな箇所で道路の速度と交通量のデータを取りました。センサは非常に高いポールの上部に付けています。そこまで高い所に付けなくてもよいのですが、ナイロビの最大の問題は盗難なのです。

「登って取る気にならないくらい高いところに付けてください」との要望で、5m ほどのポールの上に付けました。電気のメーターだけ下のほうに付けています。

今は JICA の事業が終わったのでセンサは一度取り外しましたが、今ナイロビのまちを通ると、ポールにセンサを外した後の残骸を見ることができます。また、できれば付けたいと思っています。

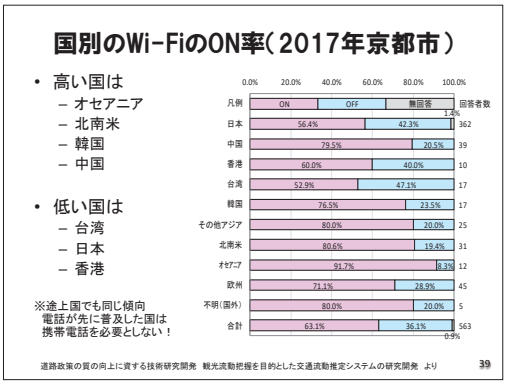
ナイロビの場合、新聞記事に掲載しました。日本でのパブリックコメントにあたります。このように新しい手法の調査を行うときは、ナイロビでは全国民の意見を聞くようにと法律に書いてあるそうです。

全国民の意見をどのように聞くのかと思っていたところ、全国紙にこの調査の内容を書いて2回掲載し、そこから出てきた意見を全て吸い上げて個別に対応するという、非常に手の込んだやり方でした。海外の場合、個人情報保護法が日本ほど精緻にできていないこともあって、こうした対策が必要になります。

## ■スマートフォンの普及と Wi-Fi の ON 率

いろいろな計測の話をしました。ではどれくらいの人が実際にスマートフォンを使っているか？というデータです。清水寺の調査をしたとき、京都大学はじめいろいろな大学と一緒に行ったので、中国語のできる学生、韓国語のできる学生、もちろん英語のできる学生と、いろいろな学生に入ってもらってアンケート調査をしました。

「どれくらいの人が Wi-Fi をオンにしているか」で見ると、日本が最も低い割合でした。同じくらい低いのが香港と台湾で、いわゆる先進国と思われる国が低いのです。途上国のほうが Wi-Fi のオン率が高く、Wi-Fi や携帯電話の保有率も高くなっています。




海外で仕事をしている方には分かるのですが、途上国では有線電話が普及するより先に携帯電話が普及しました。だから外国ではみんな必ず携帯電話を持って動きます。日本は有線電話が普及していたので、別に携帯電話がなくても生活できるため携帯を持たない方がいますが、そうした背景がこのような差に表れました。

古いデータですが世界各国で最もスマートフォンの普及率が低いのは実は日本です。

## ■ Wi-Fi パケットセンサのデータは個人情報？

プライバシー対策について少しお話しします。個人の携帯電話が発するプローブリクエストと呼ばれるデータを受信していますが、これは計測される本人にデータ利用の許可を取っていません。

個人情報保護法では大きく二つの区分があります。一つは「このデータを使っていいですよ」と個人が認めたもの、もう一つが本人の承認を得ずに取得するというもの。例えば街頭の防犯カメラなどがそうです。防犯カメラが許可を取っている人しか撮れないとなると全く意味がないですね。

この場合、個人情報保護法ではどのような扱いになっているか。日本では今回計測しているような Wi-Fi パケットは「個人情報ではない」との見解もあります。しかし個人情報保護法には「他の情報と容易に照合することができ、それにより特定の個人を識別することができることとなるもの」は個人情報であるという一文が付いています。

われわれはこれを適用して、このセンサが取得した情報は準個人情報、つまりほぼ個人情報と同じであると考えてこの調査を行うこととし、取得されたデータについては外部機関であってもそのつもりで扱うようにお願いしています。

## ■個人特定・悪用の可能性

例えば私が家を出るときに、悪意のある人が私の家の前で同じような方法で MAC アドレスを集めるとします。MAC アドレスを継続的に取ると、ある日は7時、別の日は9時、この日は出勤しなかった、あるいは出張だった、といったように日々のデータと突き合わせることで「この人の MAC アドレスはこれではないか」という想像がつきます。こうした悪用の可能性があります。

映画にもなったスノーデンのレポートには、スノーデンが空港やホテルでこれを使って要人の追跡をしたことがあると書かかれています。

最近はあまり出勤時にこのようなタイプのタイムカードを使わないかもしれませんが、これを全部集めたとします。誰が何時に出勤したかのデータを取り、タイムカードの所にセンサを置いておくと、1カ月くらいデータを集め続けたら「これはきっと誰々さんだ」と分かってしまいます。

従ってこのデータは生データが漏洩すると、個人が分かるリスクがあることをあちらこちらでお話しています。

このため私たちは、追跡できないようにデータを匿名化したり、一週間以上の連続追跡ができないようにしたりしています。一週間ごとに匿名化関数を変えると、前の週と次の週は別の人のように見えてしまうので、長い追跡ができなくなるようにして個人の特定リスクを下げるようにしています。

## ■総務省の位置情報プライバシーレポート

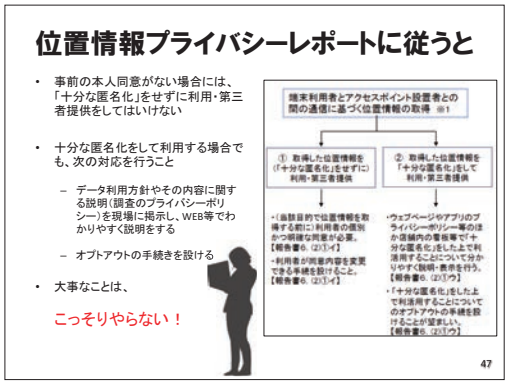
この調査手法については、総務省が「位置情報プライバシーレポート」というレポートを出しています。このような調査を行う場合には、実質的に個人識別性の要件を満たすので個人情報に準じた形で取り扱うことが適切であると書かれています。

類似の調査手法で「これは個人情報ではありません」と言いながら告示などもせずに実施している例もありますが、絶対にダメです。個人情報だと思って扱う必要があります。

もう一つ大事なことは、調査をどのような目

的で実施し、どのようなデータ処理をし、どんなデータが蓄積されているのかを常にオープンにしておくことです。これを黙ってやると絶対にダメです。

個人を追跡できないとはいえ、それでも気味が悪いから嫌だという方には Wi-Fi をオフにしてもらえばデータは取れません。「ここにセンサがある、ここで計測しています」と示しておく手もあります。それでも意に反してデータを取られたと思う人は、所定の連絡先に電話すれば MAC アドレスを聞いてそのデータを全て消去するという手順を用意しています。




## ■ MAC アドレスのランダマイズ

MAC アドレスはこのように追跡されると怖いので、スマートフォンメーカーではこれをランダマイズして分からなくする機能をスマートフォンに仕込み始めています。

ところがランダマイズを始めたとたん、US Naval Academy が「そんなことをしても元のデータが分かる方法がある」という論文を出してしまったのです。アップルなどが一時期 このランダマイズ機能を使いかけたのですが、論文が出たとたんに止めました。

最近またやり始めていますが、われわれはランダマイズパケットをきちんとフィルタリングして処理する方法をつくっています。ランダマイズしている方は追跡しませんが、ランダマイズによって計測の精度はそれほど落ちないことを確認できています。

## ■ EU 一般データ保護規則（GDPR）

GDPR については聞かれた方もあると思いますが、EU の個人情報保護法です。これは日本よりはるかに厳しく、「オンライン識別子はパーソナルデータである」と明確に定義されています。この法律は EU の中だけではなく、EU 域外に拠点を置く組織が EU 居住者のデータを集めて処理しても適用されます。これを見ても個人情報であることが分かります。

日本の個人情報保護法は違反すると6カ月以下の懲役または30万円以下の罰金ですが、GDPR に違反すると35億円と、全然違います。この辺が方針の違いです。

われわれも大いに注意する必要があります。

## ■実施許可・調査同意・告知の例

実施許可の例です。日本ではステッカーを貼ったり、プライバシーポリシーをホームページに常に公開するようにしています。

ラオスは個人情報保護法がなかったので、関係する全ての機関に集まってもらい、ステークホルダーミーティングを開きました。さらにそれを告知したり、テレビニュースで流してもらったりして意見聴取しました。

ナイロビでも関係する機関に全て集まってもらい、ステークホルダーミーティングを開き、パブリックコメントで全国紙に2回告知しました。

EU でも行っています。われわれはスペインでこの調査を行いました。調査すること自体に問題はなかったのですが、生のデータが国境を

越えて日本側に来るのは駄目だと言われました。この当時、日本はEUの定める個人情報保護の適格国でなかったのです。2019年になって適格国になりました。

そういうわけで生のデータを持ってこられなかったので、解析用のプログラムをスペインに送り、現地で解析して結果だけを日本に持ってきました。こんな方法で対応しました。

個人情報保護対策としては、プライバシーポリシーをつくってきっちり公開する、告知する、オプトアウト対策をつくること。そしてセキュリティ対策を万全にする。個人を特定するリスクのある追跡をする分析はしない。長期にわたる追跡は避ける。総務省の指導もそうですが、このようなことを守って調査を行っています。

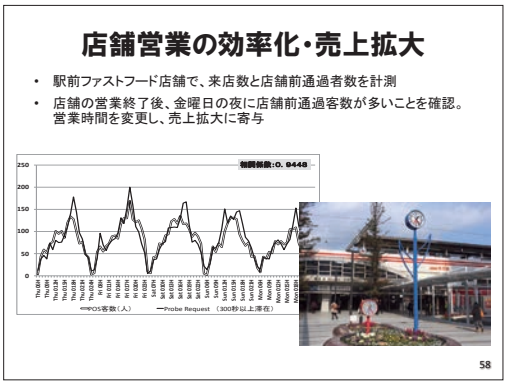
## ■センサ活用ユースケースの想定

「例えばこのように使える」というセンサ活用のユースケースの紹介です。

ある駅のファストフード店のオーナーから「うちでもこの調査を一度やってほしい。その代わりうちのレジのデータを全部出すから」と言われ、実施しました。

すると、POSレジで取った数とプローブリクエストの数がほぼ統計的に一致して、相関係数0.94くらいで来場者の数が計測されていることが確認できました。

ただ、ここは駅なので、駅の入口側に置いたセンサは当然店内とは違う流動分布をします。オーナーは金曜日の午後11時で店を閉めていましたが、閉店後の11時～12時にものすごい数のお客さんが集まっていることが分かり、営業時間を伸ばそうかなと話されていました。

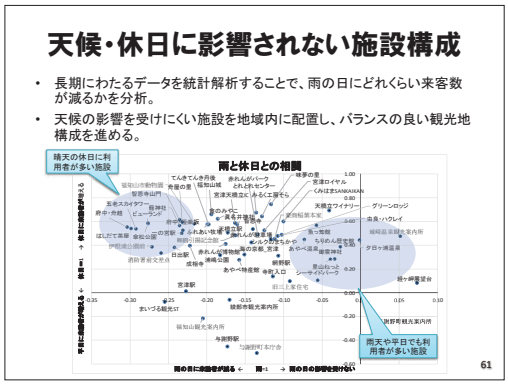



これはラオスのイベント時の解析です。このようにオープンな所では、一般の計測手法では人の出入りの計測はほとんどできません。この写真は見下ろすレストランの上から撮影していますが、このレストランでビールを飲みながら計測しました。一番はじめにとらえたMACアドレスの時間の分布を取ると、新規来場者が何時頃に来て何時頃に帰っているかが分かります。このような場所での解析もできることを示しました。これをJICAの人がご覧になり、ぜひラオスでやってみたいとのことで、ラオスでの公募に応募し、全市に展開することになった次第です。

観光地の例です。天橋立からのバスの帰り道にある飲食店では天橋立に置かれたセンサのカーブを見ながら、観光客が何時頃に来るか計算して仕込みの準備をするとおっしゃっていました。

ビッグデータとして膨大な量のデータが集まるので、雨の日とそうでない日、そして休日と

平日という二つの軸を切り、相関係数を計算します。すると雨の日にお客さんが減るのはどこか、休日にお客さんが増えるのはどこかといった観光地の特性が分かります。雨の日は例えば温浴施設で非常にお客さんが増えます。

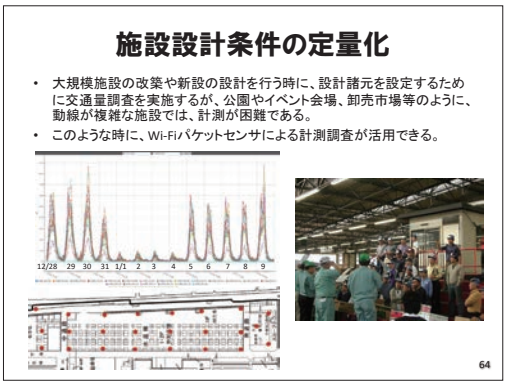



だから雨天時にもお客様に楽しんでいただけるように、観光施設を地域内でバランスよく配置できるようにと、このような解析をしました。店舗ごとに「あなたのお店のお客さまは、休日は平日の119.0％つまり約2.2倍で、雨の日は6割減っています」などと示すわけです。全施設にこうしたデータを示し、仕入れなどの参考にして下さるようにお願いしています。

## ■災害時の避難状況の把握

海の京都における災害時の避難状況です。これは浦島公園のグラフです。このグラフが急激に伸びている時間帯は、避難指示が出たときでした。普段はあまり人が来ない地点ですが、災害時には避難する方が一気に集まる傾向のデータが取れました。このように避難状況の把握にも使えます。

京都市の中央卸売市場では設計時の設計諸元を設定するために、市場内にセンサを置いて常時観測を2年ほど行いました。




例えば障がいのある方などの MAC アドレスをあらかじめ登録していただくことで、災害の時などには、追跡できるので何かあったときに助けに行くこともできるでしょう。

広告物でも使えます。デジタルサイネージの中にセンサを入れることができるので、告知効果を測定できます。

外国人が多い時間帯には英語のアナウンスを増やすといったインバウンド対応にも活用可能です。リアルタイムで分かるので活用できると思います。

このように、Wi-Fi パケットセンサは非常に多くの場面で活用していただくことができるだろうと考えています。

資料の最後に総括をまとめてあります。またご覧いただければありがたく存じます。本日はご清聴ありがとうございました。